

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-015798

(43)Date of publication of application : 19.01.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 11-184328

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 29.06.1999

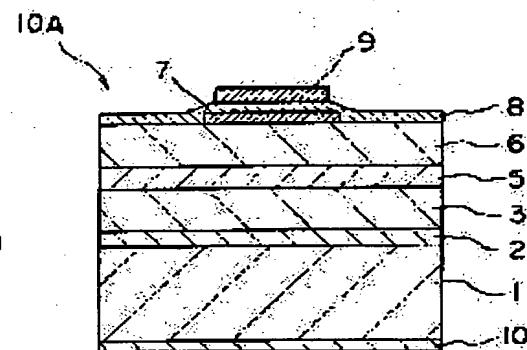
(72)Inventor : SAEKI AKIRA

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a InGaAlP system semiconductor light emitting device, which has characteristics which could not be obtained by using a conventional GaAs substrate, and further is improved in the aspect of environmental protection.

**SOLUTION:** By using a germanium substrate 1 instead of a GaAs substrate, the difference in thermal expansion coefficient between the substrate 1 and InGaAlP system semiconductor can be reduced, and further, thermal stability at a high temperature can be improved significantly. As a result, the light emitting characteristics and reliability of a semiconductor light emitting device can be improved, in comparison with those of a conventional light emitting device. Furthermore, if a p-type substrate is used, a resistance can be made lower than the resistance of the conventional light emitting device, and flexibility of design of a light emitting device can be expanded significantly. It is also advantageous a point in comparison with the conventional light emitting device in that the content of arsenic (As) can be reduced dramatically.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-15798  
(P2001-15798A)

(43)公開日 平成13年1月19日(2001.1.19)

(51)Int.Cl.  
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I  
H 0 1 L 33/00

テ-マ-ト\*(参考)  
A 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平11-184328

(22)出願日 平成11年6月29日(1999.6.29)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 佐 伯 亮

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝マイクロエレクトロニクスセン  
ター

(74)代理人 100064285

弁理士 佐藤 一雄 (外3名)

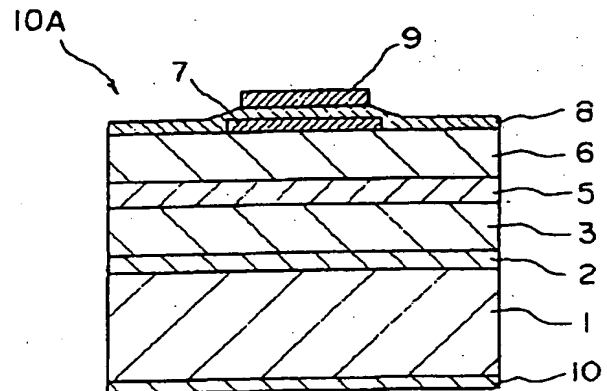
Fターム(参考) 5F041 AA21 AA43 CA33 CA34 CA35  
CA65 CA88

(54)【発明の名称】 半導体発光素子

(57)【要約】

【課題】 InGaAlP系半導体発光素子において、従来のGaAs基板では得られなかった種々の特徴を有し、且つ環境対策面においても改善された半導体発光素子を提供することを目的とする。

【解決手段】 GaAs基板の代わりにゲルマニウム基板を用いることによって、基板とInGaAlP系半導体の熱膨張率の差を小さくすることができ、さらに高温での熱安定性も大幅に改善することができる。その結果として、半導体発光素子の発光特性や信頼性を従来よりも改善することが可能となる。さらに、基板をp型とした場合に、従来よりも低抵抗とすることが可能であり、発光素子の設計の自由度が大幅に拡大する。また、GaAs基板を用いた従来の発光素子と比較して砒素(As)の含有量を劇的に減らすことができる点でも有利である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】ゲルマニウム基板と、

InGaAlP系半導体からなる発光層と、  
を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】第1導電型のゲルマニウム基板と、  
前記ゲルマニウム基板の上に設けられた第1導電型のInGaAlP系半導体からなる第1のクラッド層と、  
前記第1のクラッド層の上に設けられたInGaAlP系半導体からなる発光層と、

前記発光層の上に設けられた第2導電型のInGaAlP系半導体からなる第2のクラッド層と、  
を備えたことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】前記第2のクラッド層の上に設けられた透光性の電極層をさらに備えたことを特徴とする請求項2記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記ゲルマニウム基板と前記第1のクラッド層との間に設けられ前記ゲルマニウム基板よりも大きく前記第1のクラッド層よりも小さいバンドギャップを有するバッファ層をさらに備えたことを特徴とする請求項2または3に記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記バッファ層は、InGaPからなることを特徴とする請求項4記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記ゲルマニウム基板と前記バッファ層との間に設けられ前記ゲルマニウム基板よりも大きく前記バッファ層よりも小さいバンドギャップを有する中間ギャップ層をさらに備えたことを特徴とする請求項4または5に記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記中間ギャップ層は、GaAsからなることを特徴とする請求項6記載の半導体発光素子。

【請求項8】前記第1導電型はn型であり、前記第2導電型はp型であることを特徴とする請求項2～7のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項9】前記第1導電型はp型であり、前記第2導電型はn型であることを特徴とする請求項2～7のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記ゲルマニウム基板は、その主面が(100)から2°以上16°以下の範囲で傾斜した面方位を有することを特徴とする請求項1～9のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関する。より具体的には、本発明は、ゲルマニウム(Ge)基板上に形成したInGaAlPを用いたLED(light emitting diode: 発光ダイオード)やLD(laser diode: 半導体レーザ)などの発光素子に関し、従来のGaAs基板上に形成した素子では得られない種々の特徴を有する赤、橙、黄、黄緑、緑色などの発光を示す半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体発光素子は、コンパクト且つ低消費電力であり、信頼性に優れるなどの多くの利点を有し、近年では、高い発光輝度が要求される室内外の表示板、鉄道/交通信号、車載用灯具などについても広く応用されつつある。また、光ファイバなどを媒体とした各種の光通信用の光源としても広く利用されつつある。特に、4元化合物半導体であるInGaAlP系材料を発光層として用いたものは、その組成を調節することにより、赤色から緑色までの幅広い波長帯において発光させることができる。

【0003】なお、本明細書において「InGaAlP系」とは、組成式 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{P}$ における組成比 $x$ および $y$ を、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、但し $(x+y) \leq 1$ の範囲で変化させたあらゆる組成の半導体を含むものとする。すなわち、InGaP、InAlP、InGaAlP、GaP、GaAlPなどの混晶系も「InGaAlP系」に含まれるものとする。さらに、V族元素としてリン(P)の他に砒素(As)を含有した混晶も含むものとする。

【0004】従来から、InGaAlP系の発光ダイオード(LED)の基板には、不純物にシリコン(Si)を用いたn型のGaAs基板を用いるのが一般的であった。

【0005】図9は、従来のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

【0006】すなわち、図9に示した発光素子100は、n型GaAs基板104の上に、n型GaAsバッファ層115、n型InAlPクラッド層106、InGaAlP活性層105、p型InAlPクラッド層103、電流ブロック層107、p型GaAlAs電流拡散層118が順次積層され、さらに、p側電極109、およびn側電極110が形成されている。各半導体層104～118は、例えば、有機金属化学気相成長法(MOCVD法)によりエピタキシャル成長される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図9に例示したような従来の半導体発光素子は、GaAs基板を用いているため、GaAs基板の物性に合わせた素子設計が必要とされ、素子設計の自由度が必ずしも十分とはいえなかった。同時に、発光素子の特性もGaAs基板の物性によって決定されるため、種々の要求に対して十分に応じられるとはいえなかった。

【0008】さらに近年、地球上の環境問題が深刻化し、それに付随して身の回りの環境問題、中でもゴミ問題に対する急速な意識の高まりが現れている。この問題に対する解決策の一つは「リサイクル」であるが、これを行える製造物は多くはない。半導体発光素子のリサイクルも容易ではなく、また可能だとしても寿命があるので、いずれは廃棄せねばならない。発光素子の要部を構成するInGaAlP化合物は、特に毒性を有しない。

これに対して、基板に用いるガリウム砒素 (GaAs) は、砒素 (As) 酸化物ほどの強い有害性があるわけではないが、環境に与える影響を考慮すると、その使用量を低減することが望ましい。

【0009】以上説明したように、従来の半導体発光素子は、GaAs基板を用いていたために素子設計の自由度が十分でなく、素子特性も限定され、さらに環境対策面からも、さらになる改善が望ましいものであった。

【0010】本発明は、かかる種々の課題の認識に基づいてなされたものである。すなわち、本発明は、従来のGaAs基板の代わりにゲルマニウム (Ge) 基板を用いることにより、従来は得られなかった種々の特徴を有し、且つ環境対策面においても改善された半導体発光素子を提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の半導体発光素子は、ゲルマニウム基板と、InGaAlP系半導体からなる発光層と、を備えたことを特徴とし、従来のGaAs基板を用いた場合よりも良好な発光特性と信頼性を得ることができる。

【0012】または、本発明の半導体発光素子は、第1導電型のゲルマニウム基板と、前記ゲルマニウム基板の上に設けられた第1導電型のInGaAlP系半導体からなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上に設けられたInGaAlP系半導体からなる発光層と、前記発光層の上に設けられた第2導電型のInGaAlP系半導体からなる第2のクラッド層と、を備えたことを特徴とし、従来のGaAs基板を用いたダブルヘテロ型の発光素子と比較して良好な発光特性と信頼性を得ることができる。

【0013】ここで、前記第2のクラッド層の上に設けられた透光性の電極層をさらに備えたことを特徴とし、表面発光型の発光素子を得ることができる。

【0014】また、前記ゲルマニウム基板と前記第1のクラッド層との間に設けられ前記ゲルマニウム基板よりも大きく前記第1のクラッド層よりも小さいバンドギャップを有するバッファ層をさらに備えることにより、バンドの不連続を緩和して素子の動作電圧を下げるとともに、エピタキシャル成長層の結晶品質を改善することができる。

【0015】ここで、前記バッファ層の材料としては、InGaPを用いることが望ましい。

【0016】さらに、前記ゲルマニウム基板と前記バッファ層との間に設けられ前記ゲルマニウム基板よりも大きく前記バッファ層よりも小さいバンドギャップを有する中間ギャップ層をさらに備えることにより、バンドの不連続をさらに緩和して素子の動作電圧をさらに下げるとともに、エピタキシャル成長層の結晶品質をさらに改善することができる。

【0017】ここで、前記中間ギャップ層の材料として

は、GaAsを用いることが望ましい。

【0018】また、前記第1導電型はn型であり、前記第2導電型はp型とすることにより、nダウン型の良好な特性を有する発光素子を得ることができる。

【0019】一方、前記第1導電型はp型であり、前記第2導電型はn型とすることにより、GaAs基板を用いた従来の発光素子では得られなかった低抵抗のpダウン型素子を実現することができる。

【0020】さらに、前記ゲルマニウム基板は、その主面が(100)から2°以上16°以下の範囲で傾斜した面方位を有するものとする事により、アンチフェイズドメインの発生を抑制し、Al組成を積極的に増加することなく発光波長を短波長化することができる。つまり、発光輝度と短波長化とを両立することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ本発明の実施の形態について説明する。

【0022】(第1の実施の形態) 図1は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。同図に示した発光素子10Aは、p型Ge基板(厚み: 250μm) 1の上に、p型InGaPバッファ層(層厚: 0.05μm) 2、p型InAlPクラッド層(層厚: 0.6μm) 3、InGaAlP活性層(層厚: 0.6μm) 5、n型InAlPクラッド層(層厚: 0.6μm) 6、電流ブロック層7が順次積層された構造を有する。また、素子のn側には、ITO(indium tin oxide: 酸化インジウム錫)からなる透明電極8が形成され、電流ブロック層7に対応する部分にはn側電極9が設けられている。一方、Ge基板1の裏面には、p側電極10が設けられている。

【0023】活性層5から放出される発光は、透明電極8を透過して図中の上方に取り出すことができる。電流ブロック層7は、例えばp型InAlPからなり、遮光性の金属電極9の下部に電流が注入されることを防ぐ役割を有する。このような電流ブロック層を設けることによって、金属電極9の下部における発光を抑制し、活性層5から発光の外部取り出し効率を改善することができる。

【0024】活性層5の組成は、発光波長が赤色、橙色、黄色、黄緑色、緑色などの所定の色になるように適宜決定することができる。

【0025】本実施形態においては、上述したような発光素子の積層構造をGe基板1の上に形成している点にひとつの特徴を有する。InGaAlP系半導体を用いた発光素子を形成する際に必要とされる半導体基板は、何でも良いわけではない。その条件としては、例えば下に挙げるものがある。

【0026】(1) InGaAlP系半導体と格子定数が同じであること。

【0027】(2) InGaAlP系半導体と熱膨張係

数値に近いこと。

【0028】(3) InGaAlP系半導体の結晶成長温度(約700℃)において、劣化・変質しないこと。

【0029】(4)導電性が良好であること。

【0030】これらの中で最も重要な条件は上記(1)に挙げた「格子定数」である。従来用いられてきたガリウム砒素(GaAs)基板と比較すると、ガリウム砒素の格子定数は0.5653nmであるのに対して、ゲルマニウムの格子定数は0.5657nmであり、両者は極めて近い値を有する(いずれも300Kにおける値である)。ちなみに、シリコン(Si)の格子定数は0.5431nmである。

【0031】また、結晶構造をみても、ガリウム砒素は閃亜鉛鉱型であるのに対してゲルマニウムはダイヤモンド型であり、両者は極めて近い結晶構造を有する。

【0032】一方、熱膨張係数を比較すると、In<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Pは $5.24(10^{-6}K^{-1})$ であるのに対して、ガリウム砒素は6.40、ゲルマニウムは5.7であり、InGaAlP系半導体に対しては、ゲルマニウムの方がガリウム砒素よりも近い熱膨張率を有することが分かる。従って、結晶成長後の降温過程での熱膨張率の差に起因する歪みを低減し、従来よりも良好な品質の結晶を得ることができる。

【0033】さらに、熱安定性をみても、ガリウム砒素の場合は、約300℃以上の温度においては結晶表面から砒素(As)が脱離しやすく不安定となるために、砒素の分圧を高とした雰囲気を形成する必要がある。これに対して、ゲルマニウムは700℃以上の高温においても極めて安定であり、InGaAlP系半導体の結晶成長を安定して行うことが可能である。

【0034】以上説明したように、Ge基板を採用することにより、GaAs基板を用いた従来の発光素子よりも高い品質の結晶を成長することが可能となり、発光素子の発光特性や信頼性を改善することができる。

【0035】具体的には、図1に表した構造のLED(本発明)と、GaAs基板上に同一の積層構造を形成したLED(比較例)とを試作し、両者の特性を比較した結果、比較例のLEDの発光輝度は8cdであったのに対して、本発明のLEDの発光輝度は10cdであり、25%の改善が得られた。

【0036】一方、ゲルマニウムは高い導電性も有する。特に、正孔(hole)のドリフト移動度をみると、ガリウム砒素は $400(cm^2/(V \cdot s))$ であるのに対してゲルマニウムの場合は正孔の移動度が1900でありはるかに高い。つまり、ゲルマニウムの場合には、低抵抗なp型の基板を実現することが可能であり、発光素子の設計の自由度が大幅に拡大する。

【0037】図1に例示した発光素子10Aにおいても、基板としてp型Ge基板1を採用することによって、図9に例示したような従来の発光素子とは反対の導

電型を有し且つ低抵抗な素子を容易に得ることができ

る。つまり、基板側をp型とすることにより電極の極性を反転させて、新規な用途を開拓することができる。

【0038】図2は、n型基板上に形成した半導体発光素子とp型基板上に形成した半導体発光素子とを選択的に発光させることができる発光装置の概略構成を表す概念図である。すなわち、この発光装置30においては、実装基板Sの上に半導体発光素子Aと半導体発光素子Bとが実装されている。ここで、半導体発光素子Aはn型基板を用いて形成された素子であり、また半導体発光素子Bは図1に例示したようにp型Ge基板上に形成されたInGaAlP系の発光素子である。

【0039】これらの発光素子Aと発光素子Bとは、電源Vに対して並列に接続されている。

【0040】このような発光装置30においては、電源から出力する電流の極性に応じて発光素子Aと発光素子Bのいずれか一方を駆動することができる。つまり、発光素子Aに対して順方向の電流を供給すると発光素子Bに対しては逆方向となり発光しない。逆に、発光素子Bに対して順方向の電流を供給すると発光素子Aに対しては逆方向となり発光しない。発光素子Aと発光素子Bの発光色を変えれば、2色発光が可能となる。このように、簡単な構成で2種類の発光素子を選択的に駆動することが可能となる。

【0041】ここで、ガリウム砒素基板を用いた従来の発光素子の場合においては、基板をp型とすると、n型基板の場合よりも発光素子の抵抗値が高くなる傾向があった。その結果として、図2に例示したような発光装置30においても、発光素子Aと発光素子Bとの抵抗値が異なり、電源の極性を単純に反転させただけでは、発光強度のバランスがとれないという問題があった。

【0042】これに対して、本発明によれば、p型Ge基板の上に形成した発光素子は、n型基板の上に形成した発光素子とほぼ同一の抵抗を有する。その結果として、図2に例示したような発光装置30を構成した場合にも、電源の極性を単純に反転させただけで2種類の発光素子をほぼ同一の発光強度で発光させることが可能となる。

【0043】一方、本発明によれば、Ge基板の上に発光素子を形成することにより、他の光素子や電子素子との集積化が容易となるという効果も得られる。例えば、Ge基板上に形成するフォトダイオードやアバランシェ・フォトダイオードなどの受光素子とInGaAlP系の発光素子とをモノリシックに形成すれば、光の送受信または、出力光のモニタなどの機能をひとつの集積素子で達成することができる。

【0044】また、InGaAlP系LEDやLDなどの発光素子のための駆動回路や制御回路を同一のGe基板上に集積化することも可能となる。その結果として、従来よりも小型軽量で高性能の光機能素子を実現するこ

とができる。

【0045】さらに、本発明の半導体発光素子は、ガリウム砒素基板を用いた従来の発光素子と比較して砒素(A<sub>s</sub>)の含有量を劇的に減らすことができる点でも有利である。図3は、本発明の発光素子と従来の発光素子の構成を比較した概念図である。InGaAlP系の発光素子においては、通常、基板の厚みは250 $\mu$ m或いはそれ以上である場合が多い。この厚みは、製造工程におけるウェーハのハンドリングの容易さなどの面から決定される。一方、発光素子の積層部分の合計の厚みは、せいぜい5 $\mu$ m程度である。つまり、InGaAlP系半導体発光素子においては、全体の98%以上が基板によって占められている。

【0046】そして、図3に例示したように、ガリウム砒素基板を用いた従来の素子の場合には、その半分が砒素により占められる。つまり、砒素が占める割合は、発光素子全体の49%近くとなる。

【0047】これに対して、ゲルマニウム基板を用いた本発明の発光素子の場合には、基板にも積層部分にも、砒素は全く含有されない。つまり、砒素の使用量を劇的に減らすことが可能となり、環境面からも有利となる。

【0048】次に、本実施形態の発光素子10Aの製造方法について簡単に説明する。発光素子10Aにおいて、各半導体層2~7はMOCVD (metal-organic chemical vapor deposition: 有機金属化学気相成長) 法により形成することができる。MOCVD法による結晶成長の温度は、典型的には約700℃である。本発明においては、ゲルマニウム基板を用いるので、ガリウム砒素基板の場合のような砒素の脱離の問題もない。ゲルマニウム基板は、成長前に、1000℃程度の温度まで昇温して表面の自然酸化膜を除去しておくことが望ましい。

【0049】InGaAlP系半導体層を成長するためにはMOCVD法において用いる原料としては、例えば、トリメチルガリウム(TMG)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)などの有機金属や、アルシン(AsH<sub>3</sub>)、ホスフィン(PH<sub>3</sub>)などの水素化物ガスを挙げることができる。

【0050】n型クラッド層6にはn型不純物としてシリコン(Si)をドーブし、バッファ層2とp型クラッド層3にはp型不純物として亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)または炭素(C)をドーピングする。シリコン、亜鉛、炭素などの各不純物の原料としては、例えば、シラン(SiH<sub>4</sub>)、ジメチル亜鉛(DMZ)、四臭化炭素(CBr<sub>4</sub>)を用いることができる。

【0051】一方、ITO透明電極8は、例えばスパッタリング法により形成することができる。最後に、電極9、10を形成し、チップ形状に分割して発光素子が完成する。

【0052】(第2の実施の形態) 図4は、本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す

概念図である。同図に関しては、図1に関して前述した部分と同一の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本実施形態においても、基板としてp型Ge基板1を用い、第1実施形態に関して前述した種々の作用効果を同様に得ることができる。

【0053】さらに、本実施形態においては、Ge基板1とInGaPバッファ層2との間に、p型GaAs中間ギャップ層(層厚: 0.05 $\mu$ m)11が挿入されている。

【0054】図5は、本発明の発光素子の基板付近のバンド構造を表す概念図である。基板であるゲルマニウムのバンドギャップは、0.80eV(300Kにおける値)であるのに対して、InGaPバッファ層2のバンドギャップは1.91eVとかなり大きい。その結果として、Ge基板とInGaPバッファ層との間には比較的大きなバンド不連続が存在する。すなわち、図5に表したように、p型Ge基板1とp型InGaPバッファ層2の価電子帯エネルギーE<sub>v</sub>は、約0.8eVの「ずれ」を有する。このまま両者を接合させると、その界面において価電子帯の不連続による高い障壁が形成され、順方向電圧を印加した時に、正孔の流入が阻止される傾向が表れる。その結果として、素子抵抗が増大し、動作電圧が高くなる場合が生ずる。

【0055】図1に例示した第1実施形態の構造において、この問題に対処するためには、p型InGaPバッファ層2のキャリア濃度を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度までに高くし、またチップの大きさを比較的大きくして、素子抵抗を小さくすれば良い。

【0056】これに対して、本第2実施形態においては、Ge基板1とInGaPバッファ層2との間に、両者の中間程度のバンドギャップを有する中間ギャップ層11を設ける。こうすることにより、価電子帯バンドの不連続が緩和され、正孔の流入を促進して順方向バイアスに対する素子抵抗を低減することができる。

【0057】具体的には、バッファ層2がInGaPにより構成される場合には、中間ギャップ層11は、GaAsにより形成することができる。また、その層厚は、例えば0.05 $\mu$ m程度とすることができる。この具体例においては、Ge基板1と中間ギャップ層11との界面に形成される価電子帯のバンド不連続量を約0.5eV、中間ギャップ層11とInGaPバッファ層2との界面に形成される価電子帯のバンド不連続量を約0.3eV程度に抑制することが可能となり、正孔のバイラップを防いで素子抵抗を低減することができる。

【0058】なお、この中間ギャップ層の材料としてGaAsのように砒素(As)を含む材料を採用しても、その層厚は0.05 $\mu$ m程度と極めて薄く、発光素子が含有する砒素の絶対量は、極めて微量であるので環境に与える影響は無視しうる範囲であるといえる。

【0059】また、このような中間ギャップ層11は、

バッファ層としての役割も果たす。すなわち、この層を挿入することによって、その上にエピタキシャル成長させる各半導体層2～7の結晶性をさらに向上させ、LEDやLDの発光特性や信頼性も合わせて向上させることができる。

【0060】(第3の実施形態)図6は、本発明の第3の実施形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。本実施形態の半導体発光素子10Cは、n型Ge基板12(厚み:250 $\mu$ m)の上に、n型GaAs中間ギャップ層13(層厚:0.05 $\mu$ m)、n型InGaPバッファ層14(層厚:0.05 $\mu$ m)、光反射層15、n型InAlPクラッド層6(層厚:0.6 $\mu$ m)、InGaAlP活性層5(層厚:0.6 $\mu$ m)、p型InAlPクラッド層3(層厚:0.6 $\mu$ m)、p型GaAlAs中間ギャップ層16(層厚:0.05 $\mu$ m)、p型GaAsコンタクト層17(層厚:0.05 $\mu$ m)、電流ブロック層7が順に積層された構造を有する。さらに、素子のp側には、ITO透明電極8と表面電極9が形成され、基板1の裏面には裏面電極10が形成されている。

【0061】本実施形態においては、前述した第1乃至第2実施形態とは異なり、n型のGe基板を用いる。そして、n型InGaPバッファ層14とn型InAlPクラッド層6との間に光反射層15を挿入することにより、発光輝度を約2倍に向上させることができる。また、Ge基板12とInGaPバッファ層14との間に両者の中間的なバンドギャップを有するn型GaAs中間ギャップ層13を設けることにより、第2実施形態に関して前述したように、バンドの不連続を緩和し、素子の動作電圧を下げる事が可能となる。

【0062】ここで、本実施形態の発光素子の導電型及び極性は、前述した第1乃至第2実施形態の素子とは逆である。このため、ITO透明電極8をp型InAlPクラッド層3の上に直接接合させて形成しても、良好なオーミック接合が得られず、素子の動作電圧が高くなってしまう場合がある。それを避けるために、本実施形態においては、p型InAlPクラッド層3とITO透明電極8との間に、p型GaAlAs中間ギャップ層16とp型GaAsコンタクト層17を設ける。

【0063】p型GaAsコンタクト層17は、ITO透明電極8との間で低抵抗なオーミック接合を得るための層である。接触抵抗を十分に下げるためには、コンタクト層17のキャリア濃度を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることが望ましく、 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることがさらに望ましい。

【0064】p型GaAlAs中間ギャップ層16は、GaAsコンタクト層17とInAlPクラッド層3との間のバンド不連続を緩和し、動作電圧を下げる作用を有する。従って、中間ギャップ層16の組成は、コンタクト層17とクラッド層3の中間的なバンドギャップを

有するように決定することが望ましい。

【0065】なお、これらGaAsコンタクト層17やGaAlAs中間ギャップ層16は、砒素(As)を含むが、これらの層厚は0.05 $\mu$ m程度で良いので、砒素の含有量は極めて微小であり、環境への影響は無視できるといえる。

【0066】また、この中間ギャップ層16は、バッファ層としての役割も果たす。すなわち、この層を挿入することによって、その上にエピタキシャル成長させる各半導体層の結晶性をさらに向上させ、LEDやLDの発光特性や信頼性も合わせて向上させることができる。

【0067】(第4の実施形態)図7は、本発明の第4の実施形態に係る半導体発光素子の断面構造を例示する概念図である。すなわち、本実施形態においても、Ge基板21の上に所定の素子構造Dが形成されている。Ge基板21の導電型は、p型でもn型でも良い。素子構造Dは、基板21の導電型に応じて、第1～第3実施形態に関して例示したような構造のいずれかとする事ができる。また、必要に応じて図示しない電極などを適宜設けることができる。

【0068】本実施形態におけるGe基板21は、いわゆる「オフ角度」を有する。すなわち、基板の主面が(100)面から[011]方向に2～16°傾斜した面方位を有する。Ge基板上にInGaAlPやGaAsなどの化合物半導体を成長させるときは、III族元素とV族元素が、必ずしも交互に規則的に配列しない傾向がある。つまり、III族元素とV族元素は、それぞれGe基板の表面における原子サイトにランダムに固定されてしまう傾向があり、III族元素とV族元素の周期的な配列に不連続な境界部が形成されてしまう。このような不連続な境界により囲まれた領域は「アンチフェイズドメイン」と称される。

【0069】これに対して、本実施形態においては、Ge基板に「オフ角度」を持たせることにより、「アンチフェイズドメイン」の形成を抑制することができる。本発明者の検討の結果、Ge基板の「オフ角度」を上述の如く(100)面から[011]方向に2°以上傾斜した面方位とすると、「アンチフェイズドメイン」の形成が抑制され、良好な結晶が得られることが分かった。

【0070】また、このように「オフ角度」を有する傾斜基板上に成長したInGaPやInGaAlPは、(100)面上に成長させたものより発光波長が短くなる傾向が認められた。すなわち、同じアルミニウム(Al)組成の条件で成長させても、より短波長で発光し、かつ素子の発光輝度が高くなる事が分かった。この理由としては、III族原子の規則配列が生じる為だということが、よく知られている。即ち、例えばInGaPを成長した場合、III族原子であるInとGaが結晶中にランダムに存在するのではなく、ある面方位にInInInIn……、GaGaGaGa……と交互に規則的にならぶ場



合がある。こうした規則配列を生じると、ランダムな場合よりもバンドギャップが小さくなり、発光波長が長波長化するのである。しかし、「オフ角度」をある程度有する基板上に成長する場合は、規則配列が生じにくく、

(100)面上のものよりも相対的に短い発光波長が得られるのである。

【0071】具体的には、例えば、活性層をInGaAlPとし、「オフ角度」を有しないGe基板上に形成した発光素子と、「オフ角度」として15°の傾斜を有するGe基板上に形成した発光素子とを比較すると、発光波長が10nmほど短波長化し、発光輝度は、2倍ほど高いことが分かった。ただし、基板の「オフ角度」を大きくすると、短波長化の効果は次第に飽和し、「オフ角度」を16°以上にしても、それ以上の短波長化は生じないことも分かった。

【0072】ジャスト基板上に形成する場合には、発光波長を短波長化するために、活性層のAl組成を増やす必要がある。しかし、活性層のAl組成を増やすと発光輝度が低下する傾向がみられる。これは、Alが酸化されやすく、Al組成を増加すると、結晶成長時の雰囲気中に微量存在する酸素が結晶中に取り込まれ、非発光再結合中心として作用するからであると考えられる。

【0073】これに対して、本実施形態においては、「オフ角度」を有するGe基板を用いることによって、Al組成を積極的に増加することなく発光波長を短波長化することができる。つまり、発光輝度と短波長化とを両立することができる。

【0074】以上説明したように、Ge基板の面方位を(100)面から[011]方向に2~16°の範囲で傾斜させることにより、アンチフェイズドメインの発生を抑制し、同時に、発光素子の発光輝度を改善するとともに短波長化することもできる。

【0075】(第5の実施の形態)図8は、本発明の第5の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を例示する概念図である。同図に表した発光素子は、半導体レーザであり、n型Ge基板12(厚み:250μm)の上に、n型GaAs中間ギャップ層13(層厚:0.05μm)、n型InGaPバッファ層14(層厚:0.05μm)、n型InAlPクラッド層6(層厚:0.6μm)、InGaAlP活性層5(層厚:0.6μm)、p型InAlPクラッド層3(層厚:0.6μm)、電流ブロック層7、p型GaAsコンタクト層19(層厚:3μm)が順に積層された構造を有する。さらに、素子のp側及びn側には、電極9及び10がそれぞれ形成されている。

【0076】電流ブロック層7は、例えば、n型InAlPからなり、活性層5に対して電流が効率的に注入されるようにストライプ状の開口を有するように形成される。

【0077】本実施形態においても、基板としてGe

板12を用いることにより、第1実施形態に関して前述した種々の作用効果を同様に得ることができる。

【0078】さらに、中間ギャップ層13を設けることによって、第3実施形態において前述したものと同様に、バンド不連続を緩和して動作電圧を下げるができる。また、Ge基板としてp型の基板を用いれば、第1実施形態に関して前述したように、素子の導電型を逆転させ素子設計の自由度を大幅に広げることができる。

一方、Ge基板に「オフ角度」を設ければ、第4実施形態に関して前述したように、アンチフェイズドメインの発生を抑制し、発光輝度を向上させ同時に短波長化することが可能となる。

【0079】以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、前述した半導体発光素子の構造は一例に過ぎず、その他にも、本発明は発光層(活性層)にInGaAlP系半導体を用いた種々の構造の半導体発光素子に同様に適用して同様の効果を得ることができる。また、半導体発光素子を構成する各層の材料や組成も、公知のものから適宜選択して同様に用いることができる。

【0080】例えば、活性層は、いわゆる多重量子井戸(MQW)型の構造としても良く、また、活性層とクラッド層との間に両者の中間的な屈折率を有する光ガイド層を設けたり、クラッド層の組成を徐々に変化させるいわゆるグレーデッド型の構造としても良い。

【0081】

【発明の効果】本発明は、以上に説明した形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0082】まず、本発明によれば、InGaAlP系の発光素子について、GaAs基板の代わりにゲルマニウム基板を用いることによって、従来と同等以上の品質の結晶を成長することが可能となる。具体的には、ゲルマニウム基板を用いることにより、基板とInGaAlP系半導体の熱膨張率の差を小さくすることができ、さらに高温での熱安定性も大幅に改善することができる。その結果として、半導体発光素子の発光特性や信頼性を従来よりも改善することが可能となる。

【0083】さらに、基板をp型とした場合に、従来よりも低抵抗とすることが可能であり、発光素子の設計の自由度が大幅に拡大する。

【0084】また、本発明によれば、GaAs基板を用いた従来の発光素子と比較して砒素(As)の含有量を劇的に減らすことができる点でも有利である。

【0085】さらに、本発明によれば、Ge基板とInGaPバッファ層との間に、両者の中間程度のバンドギャップを有する中間ギャップ層を設けることにより、価電子帯バンドの不連続が緩和され、正孔の流入を促進して順方向バイアスに対する素子抵抗を低減することができる。また、この中間ギャップ層は、バッファ層として

の役割も果たし、その上にエピタキシャル成長させる各半導体層の結晶性をさらに向上させ、LEDやLDの発光特性や信頼性も合わせて向上させることができる。

【0086】また、本発明によれば、「オフ角度」を有するGe基板を用いことによって、アンティフェイズドメインの発生を抑制し、Al組成を積極的に増加することなく発光波長を短波長化することができる。つまり、発光輝度と短波長化とを両立することができる。

【0087】以上説明したように、本発明によれば、発光特性や寿命特性が優れ、且つ環境面に与える影響も大幅に減少させたLEDやLDなどのInGaAlP系発光素子を提供することができるようになり、産業上のメリットは多大である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図2】n型基板上に形成した半導体発光素子とp型基板上に形成した半導体発光素子とを選択的に発光させることができる発光装置の概略構成を表す概念図である。

【図3】本発明の発光素子と従来の発光素子の構成を比較した概念図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図5】本発明の発光素子の基板付近のバンド構造を表

す概念図である。

【図6】本発明の第3の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を表す概念図である。

【図7】本発明の第4の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を例示する概念図である。

【図8】本発明の第5の実施の形態に係る半導体発光素子の断面構造を例示する概念図である。

【図9】従来のInGaAlP系の半導体発光素子を表す概略断面図である。

#### 【符号の説明】

10A～10E 半導体発光素子

1、12、21 Ge基板

2、14 InGaPバッファ層

3 n型InAlPクラッド層

5 InGaAlP活性層

6 p型InAlPクラッド層

7 電流ブロック層

8 ITO透明電極

9、10 電極

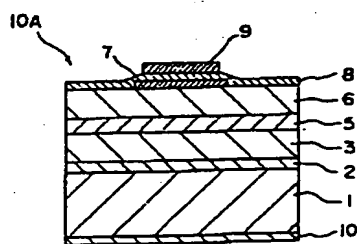
11、13、16 中間バンドギャップ層

15 光反射層

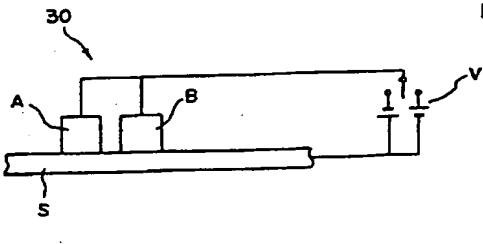
17 p型GaAsコンタクト層

19 p型コンタクト層

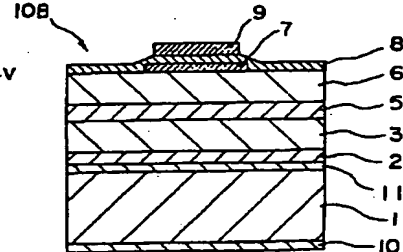
【図1】



【図2】

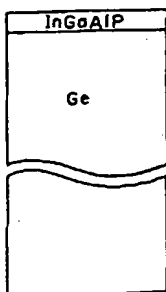


【図4】

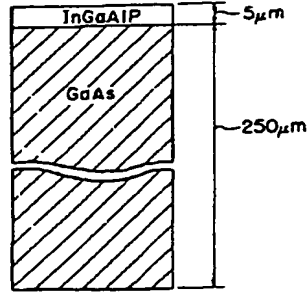


【図3】

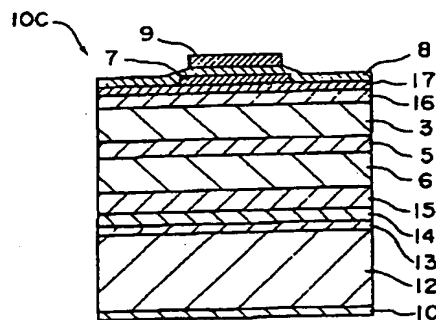
(本発明)



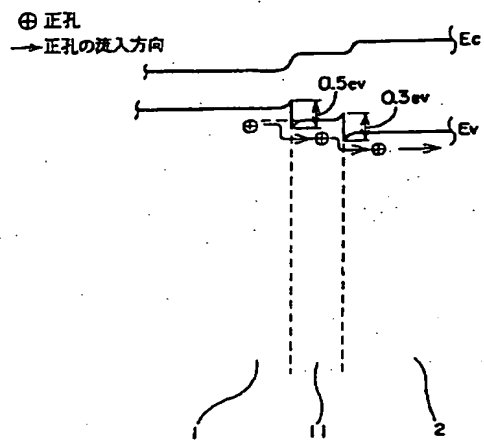
(従来)



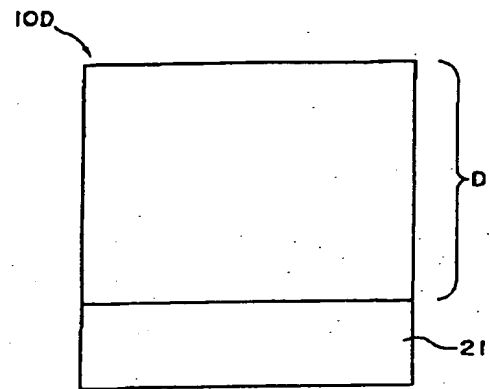
【図6】



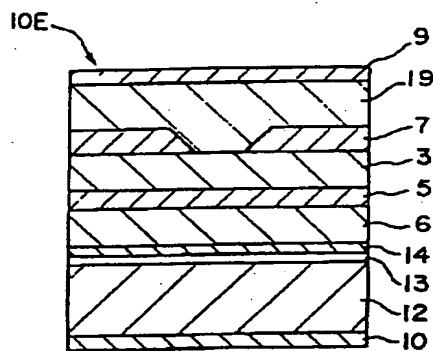
【図5】



【図7】



【図8】



【図9】

